

**Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr Kamili Zelgi pt.
Experimental studies on the multinucleon transfer reactions as a
path to superheavy nuclei creation.**

Poszukiwanie, a właściwie produkcja nowych pierwiastków o coraz większych wartościach liczb atomowych ma długą historię, z udziałem m.in. polskich fizyków. Profesorowie Wł. Świątecki i A. Sobiczewski z powodzeniem uczestniczyli w przewidywaniach teoretycznych, opartych na modelu powłokowym, tzw. liczb magicznych superciężkich jąder atomowych. Pomimo wielu lat wysiłków eksperymentalnych, pierwiastek o nazwie oganeson pozostaje jądrem atomowym o największej liczbie atomowej $Z=118$, którego wyprodukowanie zostało uznane przez fizyków i to na podstawie obserwacji kilku przypadków. Przekrój czynny na kompletną fuzję, czyli najczęściej dotychczas stosowaną metodę produkcji pierwiastków superciężkich (SHE – SuperHeavy Elements), jest rzędu femtobarnów co sprawia, że produkcja SHE tą metodą napotyka na coraz poważniejsze ograniczenia. Alternatywą dla kompletnej fuzji jest metoda wielonukleonowego transferu nukleonów (MNT – MultiNucleon Transfer) wykorzystywana przez współpracę fizyków w kilku ośrodków, w tym z Uniwersytetu Jagiellońskiego, Texas A & M University i Uniwersytetu Śląskiego. Jak każda nowa metoda wymaga przeprowadzenia pomiarów testowych, które zostały wykonane. Poszukiwanie krótkożyciowych (czas życia ~ kilka nanosekund) i długożyciowych SHE wymagało przygotowania dedykowanych układów detektorów. W recenzowanej rozprawie doktorskiej Pani mgr Kamila Zelga przedstawiła metody detekcji obu rodzajów (krótkożyciowych i długożyciowych) SHE z wykorzystaniem MNT, przy czym skoncentrowała się na poszukiwaniu długożyciowych SHE. Badana była reakcja $^{197}\text{Au} + ^{232}\text{Th}$ przy energii 7.5 AMeV, a w ocenie rozprawy uwzględniłem to, że „praca ma charakter pilotażowy” co zostało podkreślone w streszczeniu. Warto zauważyć wieloletni udział fizyków z Zakładu Fizyki Gorącej Materii, Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Uniwersytetu Jagiellońskiego w poszukiwaniach SHE, a rozprawa doktorska Pani mgr K. Zelgi nie jest pierwszą poświęconą tej tematyce, którą mam przyjemność recenzować.

Rozprawa doktorska Pani mgr K. Zelgi składa się z siedmiu rozdziałów, wliczając w to podsumowanie, wstępu, trzech dodatków, pożytecznego wykazu skrótów oraz spisu literatury liczącego 104 pozycje. We wstępie autorka skrótowo podsumowuje dotychczasowe prace, zarówno teoretyczne, jak i eksperymentalne, dotyczące produkcji superciężkich jąder

atomowych. W rozdziale pierwszym „*Historical outline*” opis obecnego stanu poszukiwań SHE jest rozwinięty i rozszerzony o krytyczną dyskusję trudności produkcji SHE cięższych niż ^{118}Og z wykorzystaniem metody fuzji. W rozdziale drugim przedstawiono dwie metody identyfikacji SHE: sukcesywne rozpady α jąder atomowych oraz tzw. systematyka Viola identyfikacji jądra macierzystego (SHE), które rozpada się przez rozszczepienie spontaniczne (samoistne). Kolejne cztery rozdziały (3-6) są poświęcone produkcji SHE z wykorzystaniem metody wielonukleonowego transferu nukleonów – MNT, przy czym rozdział trzeci zawiera opis poszukiwania krótkożyciowych SHE, a rozdziały czwarty, piąty i szósty to obszernie przedstawienie testów metody MNT w poszukiwaniu długożyciowych SHE. Jest to zasadnicza część rozprawy doktorskiej Pani mgr K. Zelgi. Rozprawę kończy trzystronicowe podsumowanie. Rozprawa liczy 111 stron.

Za najważniejszy wynik rozprawy doktorskiej Pani mgr K. Zelgi uważam uzyskanie ciekawych wyników z analizy danych z pomiarów testowych, w tym selekcję grupy sześciu przypadków (rysunek 6.20, str. 87), które mogą być kandydatami na wysokoenergetyczne cząstki α pochodzące z rozpadu długożyciowych SHE. Rysunek ten przedstawia przypadki na dwuwymiarowych mapach, w funkcji par parametrów rejestrowanego impulsu. Warto zaznaczyć, że doktorantka miała możliwość uczestniczenia w budowie układu detektorów i systemu akwizycji danych. Nie jest to częste, ponieważ w wielu eksperymentach z fizyki jądrowej bądź cząstek elementarnych doktoranci dołączają do międzynarodowych grup badawczych gdy układ detekcyjny jest już zbudowany, a system akwizycji danych działa. Wtedy zadaniem doktoranta jest zwykle wykonanie symulacji, udział w dozorowaniu zbierania danych (tzw. szychty) oraz analiza. Dlatego chciałbym podkreślić niewątpliwy wkład doktorantki w budowę układu pomiarowego i przygotowanie systemu akwizycji danych.

Poniżej zamieszczam kilka pytań/uwag dotyczących metod analizy danych i wyników przedstawionych w rozprawie Pani mgr K. Zelgi.

1. W podrozdziale 3.1 jest opisany, moim zdaniem zbyt pobieżnie, proces wielonukleonowego transferu nukleonów jako metody produkcji SHE. Realizacja tej metody wymaga budowy zaawansowanych układów detekcyjnych. Dlatego spodziewałem się bardziej rozbudowanego opisu teoretycznych podstaw metody wielonukleonowego transferu. Sądzę, że doktorantka może to uzupełnić w trakcie publicznej obrony rozprawy.
2. W podrozdziale 3.2.2 na str. 30 wymieniony jest filtr prędkości Wiena stosowany w celu oddzielenia SHE od innych produktów reakcji w metodzie kompletnej fuzji. Zasada działania filtra Wiena nie została wytłumaczona. Nie ma nawet odnośnika do literatury poza tym, że był stosowany w GSI. W czasie obrony chętnie bym się dowiedział czegoś więcej o filtrze Wiena.
3. Nie znalazłem uzasadnienia dla wyboru w symulacjach trzech wartości energii całkowitych emitowanych cząstek α , dwóch wartości kątów pod którymi są emitowane i dwóch wartości głębokości materiału scyntylatora. Wyniki symulacji, wykonanych przy pomocy pakietu SRIM (standardowo używany przez fizyków jądrowych) są przedstawione na rysunku 6.1 (str. 72), który przedstawia energie deponowane przez cząstki α w detektorach ΔE i E ($\Delta E - E$ map). Co wpłynęło na wybór w symulacjach akurat takich wartości energii, kąta i głębokości?

4. Autorka wykorzystując metody analizy kształtu impulsu identyfikuje kandydatów na wysokoenergetyczne cząstki α , które mogą być emitowane z długożyciowych SHE. Jakie było kryterium wyboru takich (m_2 - variance, m_3 - asymmetry/skewness, Amp_i - amplitude of the charge silicon pulse, Amp_q - amplitude of the current pulse oraz $RiseT_{1-99\%}$ - distance from 1% to 99% of the height of the pulse amplitude) a nie innych parametrów kształtu impulsu? Zakładam, że dobór odpowiednich parametrów jest decydujący w identyfikacji zdarzeń z detektorów krzemowych innych niż te o znanym/przewidywanym pochodzeniu, takim jak niskoenergetyczne cząstki α , fragmenty rozszczepienia, cząstki promieniowania kosmicznego czy „szum” elektroniki.
5. I jeszcze uwaga mająca związek z poprzednią. Parametry m_2 i m_3 charakteryzujące kształt impulsu zostały wybrane na podstawie pracy S. Barliniego i współpracowników (pozycja 104 w spisie literatury). Zastosowali je z powodzeniem do separacji izotopów argonu ^{36}Ar i ^{40}Ar , co zostało pokazane na rysunku 6.12 na str. 80 rozprawy. Jakie jest uzasadnienie dla przeniesienia metody Barliniego i współpracowników do separacji cząstek α emitowanych z długożyciowych SHE?
6. W trakcie obrony chciałbym usłyszeć uzasadnienie tego, że cząstki z rozpadów długożyciowych SHE powinny być zlokalizowane w obszarze zaznaczonym na czerwono na rys. 6.3 (str. 73). Czy wynika to z przewidywań teoretycznych? Pewną informację o tym można wydobyć z rys. 2.1 (str. 17) gdzie przedstawiono energie (obliczone i zmierzone) cząstek α emitowanych w rozpadach sukcesywnych SHE $_{117}\text{T}$ s (transuranowiec tenes) z pracy Oganiesiana i współpracowników (pozycja 48 w spisie literatury).

Rozprawa doktorska Pani mgr Kamili Zelgi jest napisana w języku angielskim. Nie mam większych uwag do strony językowej pracy, ale jednocześnie nie czuję się w pełni kompetentny do oceny pracy pod tym względem. Czytanie rozprawy utrudniało mi nadużywanie przez autorkę czasów ciągłych zamiast czasów prostych oraz moim zdaniem nieprawidłowy szyk niektórych zdań w stronie biernej. Warto podkreślić wysoki poziom edytorski pracy. Rysunki oraz tabele dobrze uzupełniają tekst. Autorka nie ustrzegła się drobnych błędów – „literówek”. Te które zauważyłem wymieniam poniżej:

1. ... *additional informations* ... zamiast ... *additional information* ..., (str. 6)
2. ... *greater then 75 MeV* ... zamiast ... *greater than 75 MeV* ..., (str. 32, podpis pod Figure 3.6)
3. ... *nothing more then* ... zamiast ... *nothing more than* ..., (str. 66)
4. ... *higher then 13 MeV* ... zamiast ... *higher than 13 MeV* ..., (str. 75)
5. Co znaczy “??” na lewym górnym panelu, rys. 6.10, (str. 77)
6. ... *pulse amplitude high* ... zamiast ... *the height of the pulse amplitude* ..., (str. 80)
7. *There are located* ... zamiast *They are located* ..., (str. 86)
8. ... *parameter seams* ... zamiast ... *parameter seems* ..., (str. 92)
9. ... *maybe their should be* ... zamiast ... *maybe they should be* ..., (str. 95)
10. ... *higher then 10 MeV* ... zamiast ... *higher than 10 MeV* ..., (str. 103)
11. *How can be see* ... zamiast *How can be seen* ..., (str. 103)
12. ... *ofvery*... zamiast ... *of very* ..., (str.109, pozycja 66 w spisie literatury)

Podsumowując, uważam że zawarte w rozprawie doktorskiej Pani mgr Kamili Zelgi wyniki są oryginalne i ciekawe. Dotyczą pomiarów testowych wykonanych w latach 2015/2016. Mam nadzieję, że pomimo długiego czasu jaki upłynął od pomiaru do przygotowania rozprawy wyniki analiz danych wykonane przez doktorantkę przydały się w kolejnych seriach pomiarowych. Uważam, że Pani mgr K. Zelga opanowała metody przeprowadzania współczesnych eksperymentów z fizyki jądrowej, a w szczególności budowy układów detekcyjnych i działania systemów akwizycji danych. Nie są jej także obce metody analizy danych.

Na podstawie przedłożonej do recenzji pracy doktorskiej Pani mgr Kamili Zelgi pt. „*Experimental studies on the multinucleon transfer reactions as a path to superheavy nuclei creation*” stwierdzam, że rozprawa spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Prof. Jan Kisiel